Tubo abierto de paredes delgadas:

Con pi:

$\sigma r|r = ri = -pi$

$\sigma r|r = re = 0$

$\sigma t = cte = \frac{pi * ri}{e}$

para dimensionamiento

$e \geq pi * ri/\sigma adm$

Con pe:

$\sigma r|r = ri = 0$

$\sigma r|r = re = -pe$

$\sigma t = cte = -\frac{pe * ri}{e}$

Tubo cerrado de paredes delgadas:

$\sigma l = \frac{pi * ri}{2 * e}$

Para el dimensionamiento

$e \geq \frac{pi * ri}{2 * \sigma adm}$

Tubos de paredes gruesas:

Con pi y pe

$$\sigma r = \frac{ri^2 re^2 (pe - pi)}{re^2 - ri^2} \frac{1}{r^2} + \frac{ri^2 pi - re^2 pe}{re^2 - ri^2}$$

$$\sigma t = \frac{ri^2 re^2 (pe - pi)}{re^2 - ri^2} \frac{1}{r^2} + \frac{ri^2 pi - re^2 pe}{re^2 - ri^2}$$

1°) TPG eje macizo con pe

$\sigma r = \sigma t = -pe$

$\frac{e}{ri} < 0{,}2\, TPD$ TUBERIAS

$\frac{e}{ri} < 0{,}1\, TPD$ CALDERAS

2°)TPG de ri y re con pi

$$\sigma r = \frac{ri^2 pi}{re^2 - ri^2}\left(1 - \frac{re^2}{r^2}\right) \longrightarrow r = ri \begin{cases} \sigma r = -pi \\ \sigma t = pi \frac{ri^2 + re^2}{re^2 - ri^2} \end{cases}$$

$$\frac{ri^2 + re^2}{re^2 - ri^2} > \frac{2ri^2}{re^2 - ri^2}$$

$$\sigma t = \frac{ri^2 pi}{re^2 - ri^2}\left(1 + \frac{re^2}{r^2}\right) \qquad = re \begin{cases} \sigma r = 0 \\ \sigma t = \frac{2piri^2}{re^2 - ri^2} \end{cases}$$

En ri hay mayor tensión; aplicando TMAX.

$$pi \frac{ri^2 + re^2}{re^2 - ri^2} - (-pi) \leq \sigma adm \longrightarrow$$

Para dimensionar re:

$$re = \frac{ri}{\sqrt{1 - \frac{2pi}{\sigma adm}}}$$

3°)tubo cerrado con pi:

$\sigma l = \frac{piri^2}{re^2 - ri^2}$

ACLARACION: $\sigma l = \sigma z$

4°)tubo abierto de ri y re con pe:

$$\sigma r = \frac{ri^2 pe}{re^2 - ri^2}\left(1 - \frac{re^2}{r^2}\right)$$

$$\sigma t = -\frac{ri^2 pe}{re^2 - ri^2}\left(1 + \frac{re^2}{r^2}\right)$$

5°)tubo cerrado con pe:

$\sigma l = -\frac{pere^2}{re^2 - ri^2}$

En este caso aplicando TMAX.

$\sigma 1 = \sigma r; \sigma 2 = \sigma l; \sigma 3 = \sigma t$

6°)tubo cerrado con pe y pi:

$\sigma l = -\frac{piri^2 - pere^2}{re^2 - ri^2}$

CASO TP CALDERA

$$\sigma n1 = \frac{\sigma t + \sigma l}{2} + \frac{\sigma t - \sigma l}{2}\cos(2\theta) - \tau xy.sen(2\theta)$$

$$\tau n1 = \frac{\sigma t - \sigma l}{2} sen(2\theta) + \tau xy.cos(2\theta)$$

Teoría de falla:

Caso de ser τ de subíndices x e y, las tensiones ser $\sigma x, \sigma y$ no pueden ser principales,para obtener las tensiones principales tendríamos:

$$\sigma 1; 2 = \frac{\sigma x + \sigma z}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma x - \sigma z)^2 + 4\tau xy^2}$$

Si las tensiones son iguales

$$\sigma^2 adm = \sigma^2 r + \sigma^2 t - \sigma r . \sigma t$$

Si $\sigma r = \sigma t$ y hay σz

$$\sigma 1; 2 = \frac{\sigma z}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma z)^2 + 4\tau xy^2}$$

Si $\sigma r \neq \sigma t$ y hay Si τzx

$$\sigma 1; 2 = \frac{\sigma t}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma t)^2 + 4\tau zx^2}$$

Si se tiene $\sigma r; \sigma t; \sigma z$ y σr es la tension principal:

$$\sigma 1; 2 = \frac{\sigma x + \sigma z}{2} \pm \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma x - \sigma z)^2 + 4\tau xy^2}$$

Tubo cerrado caldera y cañería :

$$\sigma zmax(Mf) = \frac{Mf}{\pi . e . r^2}$$

$$\tau xz = \frac{Mt}{2\pi . e . r^2} = \frac{Mt}{Wp}$$

$$\sigma z(N) = \frac{N}{2\pi . ri . e}$$

Tubo cerrado TPG

$$\sigma z(Mf) = \frac{Mf . y}{Jxx} = \frac{64. Mf . y}{\pi . (de^4 - di^4)}$$

$$\tau xz(Mt) = \frac{32Mt * \rho}{\pi . (de^4 - di^4)} = \frac{16. Mt . d_{i;e}}{\pi . (de^4 - di^4)} = \frac{Mt . \rho}{Jp}$$

$$\sigma z(N) = \frac{4. N}{\pi . (de^2 - di^2)}$$

MACISO:

$$\sigma z(N) = \frac{N}{\pi . d^2} = \frac{N}{F}$$

$$\tau xz = \frac{Mt}{\pi . d^3} = \frac{Mt}{Wp}$$

$$\sigma z(Mf) = \frac{32. Mf}{\pi . d^2}$$

Caso punzon del tp:

$$\Delta r = a.\beta/2$$

$$\Delta r = \frac{r}{E}(\sigma t - \mu\sigma r)$$

La presion po actuara como Pi r=ri

$$\frac{a}{2}\beta = \frac{ri}{E}\left(po.\frac{r1^2 + r2^2}{r1^2 - r2^2} + \mu.po\right)$$

$$po = \frac{a.\beta.E}{2.r1}.\frac{r2^2 - r1^2}{r1^2 + r2^2 + \mu(r2^2 - r1^2)}$$

$$\sigma rmax = -po = \frac{a.\beta.E}{2.r1}.\frac{r1^2 - r2^2}{r1^2 + r2^2 + \mu(r2^2 - r1^2)}$$

$$\sigma tmax = po\frac{r2^2 + r1^2}{r2^2 - ri^2} = \frac{a.\beta.E}{2.r1}.\frac{r1^2 + r2^2}{r1^2 + r2^2 + \mu(r2^2 - r1^2)}$$

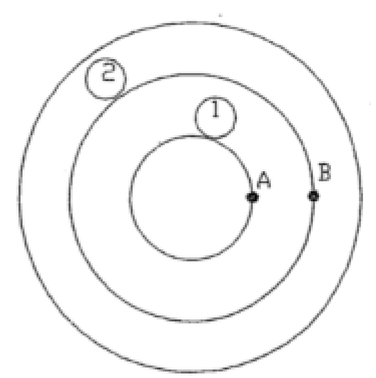
Para calcular beta:

$$\Delta r2 = \frac{r2}{E}(\sigma t2 - \mu\sigma r2)$$

En r=r2

$$\Delta r2 = \frac{r2}{E}\sigma t = \frac{r2a\beta E}{E.2r1}\frac{(r2^2 - r1^2).2r1^2}{r1^2 + r2^2 + \mu(r2^2 - r1^2).(r2^2 - r1^2)}$$

$$\beta = \frac{\Delta r2}{r2}\frac{r1^2 + r2^2 + \mu(r2^2 - r1^2}{a.r1}$$



Tubos zunchados:

$$\sigma t, r = \frac{ri^2 pi}{re^2 - ri^2}\left(1 \pm \frac{re^2}{r^2}\right)$$

caso: 2 TPG

Tensiones en los tubos debido a la Pc

$$tubo\,1\begin{cases} \sigma_r|_{r=ri} = 0 \\ \sigma_r|_{r=rm} = -p_c \\ \sigma_t|_{r=ri} = -2p_c \dfrac{r_m^2}{r_m^2 - r_i^2} \\ \sigma_t|_{r=rm} = -p_c \dfrac{r_m^2 + r_e^2}{r_e^2 - r_m^2} \end{cases}$$

$$tubo\,2\begin{cases} \sigma_r|_{r=rm} = -p_c \\ \sigma_r|_{r=re} = 0 \\ \sigma_t|_{r=rm} = p_c \dfrac{r_m^2 + r_e^2}{r_e^2 - r_m^2} \\ \sigma_t|_{r=re} = 2p_c \dfrac{r_m^2}{r_e^2 - r_m^2} \end{cases}$$

$$\varepsilon_{t2} - \varepsilon_{t1} = \frac{\Delta}{rm}$$

$$\varepsilon_{t2} = \frac{1}{E}(\sigma t2 - \mu\sigma r2)$$

Presiones de contacto

Conociendo el Huelgo:

$$p_c = \frac{\Delta E (r_m^2 - r_i^2)(r_e^2 - r_m^2)}{2\, r_m^3 (r_e^2 - r_i^2)}$$

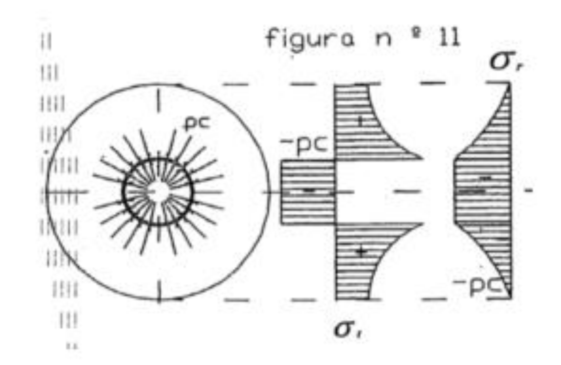
Sin conocer el huelgo:

Tmax.a=Tmax.b siendo $Tmax.a = \frac{\sigma t|_{r=ri} - \sigma t|_{r=ri}}{2}$;

$$Tmax.b = \frac{\sigma t|_{r=rm} - \sigma t|_{r=rm}}{2}$$

Igualo y despejo pc

TUBO MONTADO SOBRE EJE MACIZO:



Tensiones en los tubos debido a Pc

$$eje\ macizo\begin{cases} \sigma_r|_{r=rm} = -p_c \\ \sigma_t|_{r=rm} = -p_c \end{cases} \quad va$$

$$tubo\begin{cases} \sigma_r|_{r=rm} = -p_c \\ \sigma_t|_{r=rm} = p_c \dfrac{r_m^2 + r_e^2}{r_e^2 - r_m^2} \\ \sigma_r|_{r=re} = 0 \\ \sigma_t|_{r=re} = 2p_c \dfrac{r_m^2}{r_e^2 - r_m^2} \end{cases}$$

Presiones de contacto

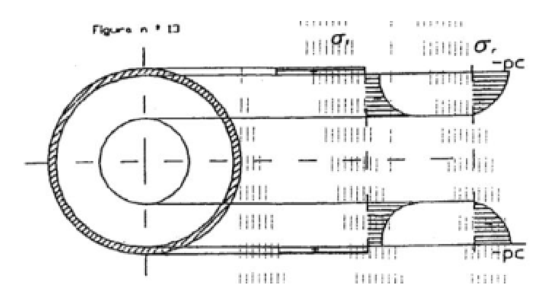
Conociendo el huelgo:

$$p_c = \frac{\Delta E}{2 r_m r_e^2}(r_e^2 - r_m^2)$$

Conociendo la tensión admisible:

$$p_c = \frac{\sigma'_{adm}}{2} \frac{r_e^2 - r_m^2}{r_e^2}$$

TUBO INTERIOR DE PARED GRUESA Y TUBO EXTERIOR PARED D



Tensiones en los tubos debido a Pc

$$tubo\,1\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=ri} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=ri} = -2\,p_c\dfrac{r_m^2}{r_m^2 - r_i^2} \\ \sigma_r\big|_{r=rm} = -\,p_c \\ \sigma_t\big|_{r=rm} = -\,p_c\dfrac{r_m^2 + r_i^2}{r_m^2 - r_m^2}\end{cases}$$

$$tubo\,2\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=rm} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=rm} = p_c\dfrac{r_m}{r_e - r_m} \\ \sigma_r\big|_{r=re} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=re} = p_c\dfrac{r_m}{r_e - r_m}\end{cases}$$

Presiones de contacto

Conociendo el huelgo:

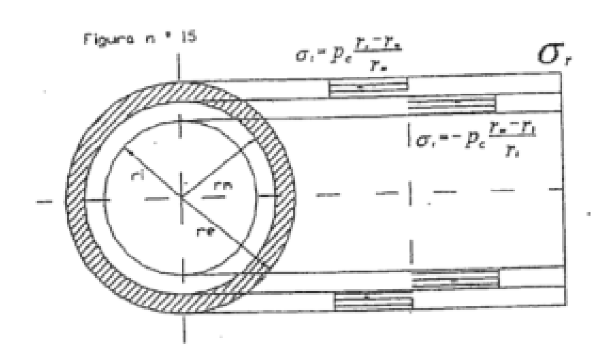
$$p_c = \frac{\Delta E}{r_m}\frac{(r_m^2 - r_i^2)(r_e - r_m)}{2r_m^3 - r_e(r_m^2 + r_i^2) + \mu(r_e - r_m)(r_m^2 - r_i^2)}$$

Conociendo la tensión admisible:

SI $\dfrac{r_i}{r_m} < 0{,}6$ => $p_c = \sigma_{adm}\dfrac{r_e - r_m}{r_m}$

SINO $p_c = \sigma_{adm}\dfrac{r_m^2 - r_i^2}{2r_m^2}$

2 TUBOS DE PAREDES DELGADAS MISMO MATERIAL:



Tensiones en los tubos debido a Pc

$$tubo\,1\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=ri} = \sigma_r\big|_{r=rm} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=ri} = \sigma_t\big|_{r=rm} = -\,p_c\dfrac{r_i}{r_m - r_i}\end{cases}$$

$$tubo\,2\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=rm} = \sigma_r\big|_{r=re} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=rm} = \sigma_t\big|_{r=re} = p_c\dfrac{r_m}{r_e - r_m}\end{cases}$$

Presiones de contacto

Conociendo el huelgo:

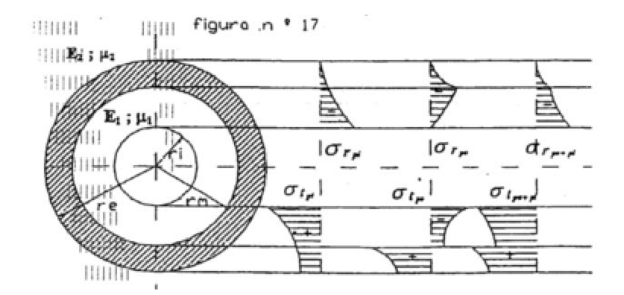
$$p_c = \frac{\Delta E}{r_m}\frac{r_m r_i}{r_i(r_e - r_m) + r_m(r_m - r_i)}$$

Conociendo la tensión admisible:

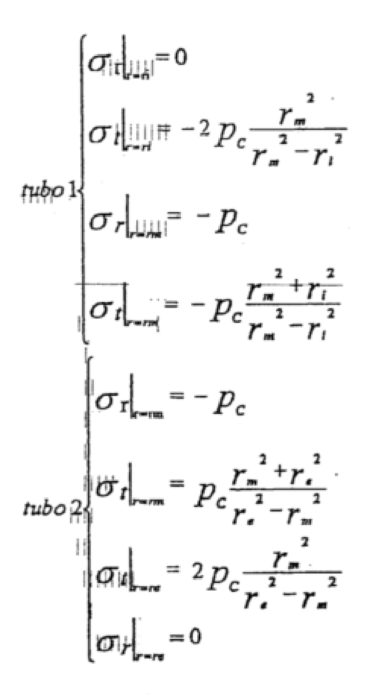
$$\begin{cases}tubo\,1 \rightarrow p_c = \sigma_{adm}\dfrac{r_m - r_i}{r_i} \\ tubo\,2 \rightarrow p_c = \sigma_{adm}\dfrac{r_e - r_m}{r_m}\end{cases}$$

SE TOMA LA MENOR DE LAS 2

2 TUBOS DE PAREDES GRUESAS DE DISTINTO MATERIAL:



Tensiones en los tubos debido a Pc



$$tubo\,1\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=ri}=0\\ \sigma_t\big|_{r=ri}=-2\,p_c\dfrac{r_m^2}{r_m^2-r_i^2}\\ \sigma_r\big|_{r=rm}=-p_c\\ \sigma_t\big|_{r=rm}=-p_c\dfrac{r_m^2+r_i^2}{r_m^2-r_i^2}\end{cases}$$

$$tubo\,2\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=rm}=-p_c\\ \sigma_t\big|_{r=rm}=p_c\dfrac{r_m^2+r_e^2}{r_e^2-r_m^2}\\ \sigma_t\big|_{r=re}=2\,p_c\dfrac{r_m^2}{r_e^2-r_m^2}\\ \sigma_r\big|_{r=re}=0\end{cases}$$

Presiones de contacto

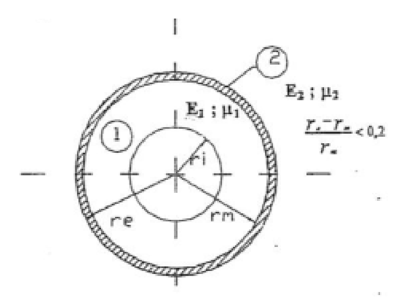
Conociendo el huelgo:

$$p_c=\frac{\Delta}{r_m}\frac{1}{\dfrac{1}{E_2}\left(\dfrac{r_m^2+r_e^2}{r_e^2-r_m^2}+\mu_2\right)+\dfrac{1}{E_1}\left(\dfrac{r_i^2+r_m^2}{r_m^2-r_i^2}-\mu_1\right)}$$

CASO INTERNO MACIZO:

$$p_c=\frac{\Delta}{r_m}\frac{1}{\dfrac{1}{E_2}\left(\dfrac{r_m^2+r_e^2}{r_e^2-r_m^2}+\mu_2\right)+\dfrac{1}{E_1}\left(1-\mu_1\right)}$$

TUBO INTERIOR PARED GRUESA Y EXTERIOR DE PARED DELGADA DIF MATERIALESS



Tensiones en los tubos debido a Pc

$$tubo\,1\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=ri}=0\\ \sigma_t\big|_{r=ri}=-2\,p_c\dfrac{r_m^2}{r_m^2-r_i^2}\\ \sigma_r\big|_{r=rm}=-p_c\\ \sigma_t\big|_{r=rm}=-p_c\dfrac{r_m^2+r_i^2}{r_m^2-r_i^2}\end{cases}$$

$$tubo\,2\begin{cases}\sigma_r\big|_{r=rm}=0\\ \sigma_t\big|_{r=rm}=+p_c\dfrac{r_m}{r_e-r_m}\\ \sigma_t\big|_{r=re}=p_c\dfrac{r_m}{r_e-r_m}\\ \sigma_r\big|_{r=re}=0\end{cases}$$

Presiones de contacto

Conociendo el huelgo:

$$p_c=\frac{\Delta}{r_m}\frac{1}{\dfrac{1}{E_2}\left(\dfrac{r_m}{r_e-r_m}\right)-\dfrac{1}{E_1}\left(\mu_1-\dfrac{r_m^2+r_i^2}{r_m^2-r_i^2}\right)}$$

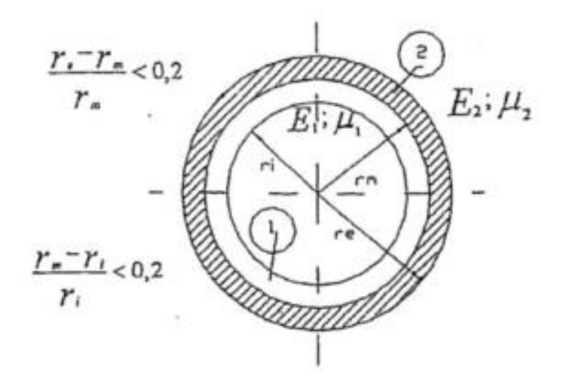
Conociendo la tensión admisible:

$$p_c=\sigma_{adm_1}\frac{r_m^2-r_i^2}{2r_i^2}$$

$$p_c=\sigma_{adm_2}\frac{r_e-r_m}{r_m}$$

SE ELIGE LA MAS CHICA

TUBO INTERIOR PARED DELGADA Y EXTERIOR DE PARED DELGADA DIF MATERIALES



Tensiones en los tubos debido a Pc

$$tubo\,1 \begin{cases} \sigma_r\big|_{r=ri} = \sigma_r\big|_{r=rm} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=ri} = \sigma_t\big|_{r=rm} = -p_C \dfrac{r_i}{r_m - r_i} \end{cases}$$

$$tubo\,2 \begin{cases} \sigma_r\big|_{r=rm} = \sigma_r\big|_{r=re} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=rm} = \sigma_t\big|_{r=re} = p_C \dfrac{r_m}{r_e - r_m} \end{cases}$$

Presiones de contacto

Conociendo el huelgo:

$$p_C = \frac{\Delta}{r_m} \frac{1}{\dfrac{1}{E_2}\dfrac{r_m}{r_e - r_m} + \dfrac{1}{E_1}\dfrac{r_i}{r_m - r_i}}$$

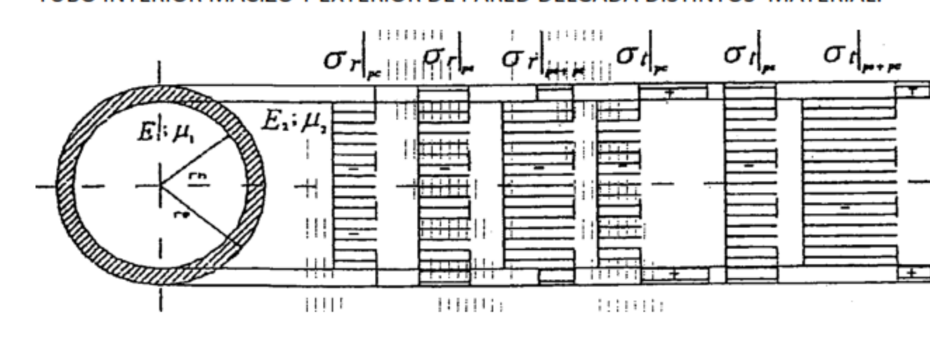
Conociendo la tensión admisible:

$$p_C = \sigma_{adm_1} \frac{r_m - r_i}{r_i}.$$

$$p_C = \sigma_{adm_2} \frac{r_e - r_m}{r_m}$$

SE ELIGE LA MAS CHICA

TUBO INTERIOR MACIZO Y EXTERIOR DE PARED DELGADA DISTINTOS MATERIAL:



Tensiones en los tubos debido a Pc

$$macizo\,1 \begin{cases} \sigma_r = -p_C \\ \sigma_t = -p_C \end{cases}$$

$$tubo\,2 \begin{cases} \sigma_r = 0 \\ \sigma_t = p_C \dfrac{r_m}{r_e - r_m} \end{cases}$$

Presiones de contacto

Conociendo el huelgo:

$$p_C = \frac{\Delta}{r_m} \frac{1}{\dfrac{1}{E_2}\dfrac{r_m}{r_e - r_m} + \dfrac{1}{E_1}(1 - \mu_1)}$$

Conociendo la tensión admisible:

$$p_C = \sigma_{adm_1}.$$

$$p_C = \sigma_{adm_2} \frac{r_e - r_m}{r_m}$$

SE ELIGE LA MAS CHICA

Tabla de presiones de contacto de algunas configuraciones de 2 tubos zunchados, conociendo el huelgo radial Δ, y, considerando radio interior r_i, radio medio r_m, y radio exterior r_e (en el caso de ejes se consideran r_e y r_m).

Diferentes casos	p_c
1 °) Dos tubos de pared gruesa del mismo material	$p_c=\dfrac{\Delta E\left(r_m^2-r_i^2\right)\left(r_e^2-r_m^2\right)}{2\,r_m^3\left(r_e^2-r_i^2\right)}$
2 °) Tubo montado sobre un eje macizo del mismo material	$p_c=\dfrac{\Delta E}{2 r_m r_e^2}\left(r_e^2-r_m^2\right)$
3 °) Tubo interior de pared gruesa y exterior de pared delgada del mismo material	$p_c=\dfrac{\Delta E}{r_m}\dfrac{\left(r_m^2-r_i^2\right)\left(r_e-r_m\right)}{2r_m^3-r_e\left(r_m^2+r_i^2\right)+\mu\left(r_e-r_m\right)\left(r_m^2-r_i^2\right)}$
4 °) Tubo interior macizo y exterior de pared delgada del mismo material	$p_c=\dfrac{\Delta E}{r_m}\dfrac{\left(r_e-r_m\right)}{2r_m-r_e+\mu\left(r_e-r_m\right)}$
5 °) Dos tubos de pared delgada del mismo material	$p_c=\dfrac{\Delta E}{r_m}\dfrac{(r_m-r_i)(r_e-r_m)}{r_i\left(r_e-r_m\right)+r_m\left(r_m-r_i\right)}$
6 °) Dos tubos de pared gruesa de diferentes materiales	$p_c=\dfrac{\Delta}{r_m}\dfrac{1}{\dfrac{1}{E_2}\left(\dfrac{r_m^2+r_e^2}{r_e^2-r_m^2}+\mu_2\right)+\dfrac{1}{E_1}\left(\dfrac{r_i^2+r_m^2}{r_m^2-r_i^2}-\mu_1\right)}$
7 °) Un eje macizo y un tubo exterior de pared gruesa de diferentes materiales	$p_c=\dfrac{\Delta}{r_m}\dfrac{1}{\dfrac{1}{E_2}\left(\dfrac{r_m^2+r_e^2}{r_e^2-r_m^2}+\mu_2\right)+\dfrac{1}{E_1}\left(1-\mu_1\right)}$
8 °) Dos tubos de diferentes materiales, con tubo exterior de pared delgada	$p_c=\dfrac{\Delta}{r_m}\dfrac{1}{\dfrac{1}{E_2}\left(\dfrac{r_m}{r_e-r_m}\right)-\dfrac{1}{E_1}\left(\mu_1-\dfrac{r_m^2+r_i^2}{r_m^2-r_i^2}\right)}$
9 °) Dos tubos de pared delgada de diferentes materiales	$p_c=\dfrac{\Delta}{r_m}\dfrac{1}{\dfrac{1}{E_2}\dfrac{r_m}{r_e-r_m}+\dfrac{1}{E_1}\dfrac{r_i}{r_m-r_i}}$
10 °) Eje macizo y tubo exterior de pared delgada, de diferentes materiales	$p_c=\dfrac{\Delta}{r_m}\dfrac{1}{\dfrac{1}{E_2}\dfrac{r_m}{r_e-r_m}+\dfrac{1}{E_1}\left(1-\mu_1\right)}$
11 °) Tubo interior de pared delgada y exterior de pared gruesa, del mismo material	$p_c=\dfrac{\Delta E}{r_m}\dfrac{1}{\dfrac{r_e^2+r_m^2}{r_e^2-r_m^2}+\mu+\dfrac{r_m}{r_m-r_i}}$
12 °) Tubo interior de pared delgada y exterior de pared gruesa, de diferentes materiales	$p_c=\dfrac{\Delta}{r_m}\dfrac{1}{\dfrac{1}{E_2}\left(\dfrac{r_e^2+r_m^2}{r_e^2-r_m^2}+\mu_2\right)+\dfrac{1}{E_1}\dfrac{r_m}{r_m-r_i}}$

P_i: $\sigma_r = -P_i \; en \; r = r_i \quad \sigma_r = 0 \; en \; r = r_e \;\; \sigma_t = P_i \frac{r_i}{e} \quad \sigma_z = \frac{\sigma_t}{2} (cerrado)$

P_e: $\sigma_t = -P_e \frac{r_e}{e} \qquad \sigma_r = 0 \quad \frac{e}{r_i} \leq 0{,}2$ (Tubos de pared delgada abiertos)

$\frac{e}{r_i} \leq 0{,}1$ (Tubos de pared delgada cerrados)

$$\sigma_z = \frac{M_f . y}{J}$$

Tubos de pared gruesa.

Ecuaciones de Lame:

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{r_e^2 - r_i^2}(1 - \frac{r_e^2}{r^2})$$

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{r_e^2 - r_i^2}(1 + \frac{r_e^2}{r^2})$$

$$\sigma_r = \frac{-P_e r_e^2}{r_e^2 - r_i^2}(1 - \frac{r_i^2}{r^2})$$

$$\sigma_t = \frac{-P_e r_e^2}{r_e^2 - r_i^2}(1 + \frac{r_i^2}{r^2})$$

Tubos zunchados

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E} . (\sigma_t - \mu \sigma_r)$$

Discos Giratorios.

$$\sigma_r = \frac{\gamma \, \omega^2 \, r_e^2}{g} \times \frac{3 + \mu}{8} [1 + \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2 - \left(\frac{r_i}{r}\right)^2 - (\frac{r}{r_e})^2]$$

$$\sigma_t = \frac{\gamma \, \omega^2 \, r_e^2}{g} \times \frac{3 + \mu}{8} [1 + \left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2 + \left(\frac{r_i}{r}\right)^2 - \left(\frac{r}{r_e}\right)^2 \frac{1 + 3\mu}{3 + \mu}]$$

$$\sigma_{r \; máximo} = \frac{\gamma . \omega^2 . r_e^2}{g} . \frac{3 + \mu}{8} . \left[1 - \frac{r_i}{r_e}\right]^2$$

$$\omega_{crítica} = \sqrt{\frac{\sigma_{adm}}{k_1 . r_e^2 . [2 + \alpha^2 . (1 - k_2)]}}$$

$k_1 = \frac{\gamma}{g} . \frac{3+\mu}{8}$ $k_2 = \frac{1+3\mu}{3+\mu}$ $\alpha = \frac{r_i}{r_e}$

Espesor variable en función del radio.

$$2\,t = 2\,t_0\,e^{-\frac{\gamma\,\omega^2}{2\,g\,\sigma_{adm}} r^2}$$

Macizo

$$\omega_{crítica} = \sqrt{\frac{\sigma_{adm}}{k_1 . r_e^2}}$$

$$\sigma_r = \frac{\gamma\,\omega^2\,r_e^2}{g} \times \frac{3+\mu}{8}\left[1 - \left(\frac{r}{r_e}\right)^2\right]$$

$$\boldsymbol{\sigma_t = \frac{\gamma\,\omega^2\,r_e^2}{g} \times \frac{3+\mu}{8}}[1 - \left(\frac{r}{r_e}\right)^2 \frac{1+3\mu}{3+\mu}]$$

Teorias de fallas

Máxima tensión principal $\sigma_{adm} \geq \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{1}{2} . \sqrt{\left(\sigma_x - \sigma_y\right)^2 + 4\tau}$

Máxima tensión tangencial $\sigma_{max} - \sigma_{min} \leq \sigma_{adm}$

Máxima dilatación lineal $\frac{1}{E} . (\sigma_1 - \mu\sigma_2 - \mu\sigma_3) \leq \frac{\sigma_{adm}}{E.N}$

Máxima energía de deformación total

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_{1)}} \leq \frac{\sigma_{adm}}{n}$$

$$\frac{dtmax.aob}{drm} = 0$$

$$rm = \sqrt{re.ri}$$

$$Tmax.ao\ b = \frac{pi}{2}\frac{re}{re-ri} = \frac{\sigma adm}{2}$$

$$\Delta = \frac{pi}{E}\sqrt{ri.re}$$

Tubo montado sobre eje macizo

$$pc = \frac{\sigma adm * (}{2}\frac{re^2 - rm^2)}{re^2}$$

$$\Delta = 2\frac{pc}{E}\frac{rm.re^2}{re^2 - rm^2}$$

Tubo interior de pared gruesa y exterior de pared delgada.

$$pc = \sigma adm\frac{rm^2 - ri^2}{2rm^2}$$

Dos tubos zunchados de paredes delgadas:

Tubo 1:

$$pc = \sigma adm\frac{rm - ri}{ri}$$

Tubo 2:

$$pc = \sigma adm\frac{re - rm}{rm}$$

$$\frac{d\sigma_r}{dr} = 0 = 2\frac{r_i^2}{r^3} - 2\frac{r}{r_e^2}$$ correspondiendo un valor $r \rightarrow r = \sqrt{r_i \cdot r_e}$

Si reemplazamos este valor en la fórmula de σ_r de las expresiones 4, resulta:

$$\sigma_{rmáx} = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8}\left(1+\frac{r_i^2}{r_e^2} - \frac{r_i^2}{r_i \cdot r_e} - \frac{r_i \cdot r_e}{r_e^2}\right) = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8}\left(1+\frac{r_i^2}{r_e^2} - 2\frac{r_i}{r_e}\right)$$

$$\sigma_{rmáx} = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8}\left(1-\frac{r_i}{r_e}\right)^2$$ siendo $\frac{r_i}{r_e} < 1 \rightarrow \left(1-\frac{r_i}{r_e}\right) > 0$, pues $\frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8} = cte$

positiva, en consecuencia $\sigma_{rmáx}$ es positiva, implicando $\sigma_{rmáx}$ es de tracción

*En cuanto al máximo valor de σ_t se obtiene para **$r = r_i$**, según se puede observar de la fórmula σ_t correspondiente a las expresiones 4, resultando de reemplazar **r** por **r_i** en esta fórmula:*

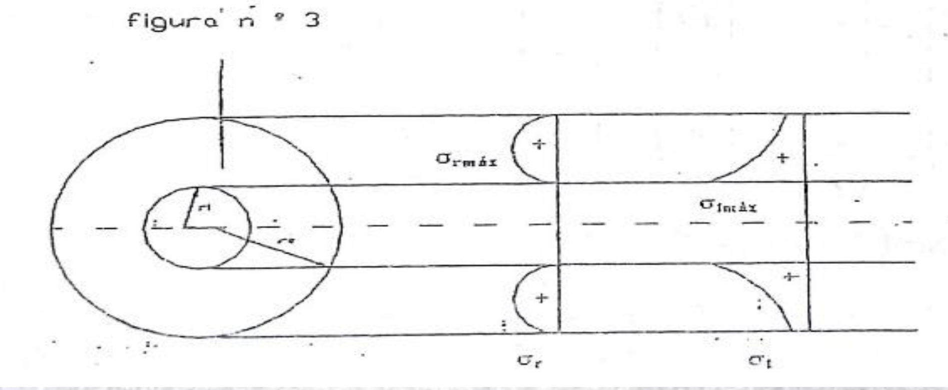
$$\sigma_{tmáx} = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8}\left[2+\left(\frac{r_i}{r_e}\right)^2\left(1-\frac{1+3\mu}{3+\mu}\right)\right]$$ siendo $\frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8} > 0$, al igual que

el corchete, también resultará $\sigma_{tmáx}$ positiva, o sea de tracción. Resultando, además

$\sigma_{tmáx} > \sigma_{rmáx}$

En cuanto a la distribución de tensiones en función del radio r, en la figura n ° 3 se muestra esta variación.

figura n ° 3



$$\begin{cases} \sigma_r\big|_{r=ri} = 0 \\ \sigma_t\big|_{r=ri} = \sigma_{tmáx} \end{cases}$$

Luego, aplicando la teoría de rotura de la máxima tensión tangencial.

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \leq \frac{\sigma_{adm}}{2}$$ en nuestro caso $\sigma_2 = 0$, y $\sigma_1 = \sigma_{tmáx}$ y llamando a las constantes

$$k_1 = \frac{3+\mu}{8}\frac{\gamma}{g}$$, $k_2 = \frac{1+3\mu}{3+\mu}$ y $\alpha = \frac{r_i}{r_e}$

$\sigma_{adm} = \sigma_{tmáx}$ por la teoría de falla y reemplazando las constantes anteriores nos queda :

$\sigma_{tmáx} = k_1.\omega^2 r_e^2 \left[2+\alpha^2(1-k_2)\right] = \sigma_{adm}$ despejando de esta ecuación ω, siendo esta ω_{crit} ***resultará*** :

$$\omega_{crit} = \frac{\sqrt{\sigma_{adm}}}{r_e\sqrt{k_1\left[2+\alpha^2(1-k_2)\right]}}$$

Según podemos observar, los valores máximos resultan para r =0, cuyas expresiones 6 se informan a continuación, siendo iguales en valor $\sigma_{rmáx} = \sigma_{tmáx}$.

$$\sigma_{rmáx} = \sigma_{tmáx} = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8}$$

Disco con un pequeño orificio central

$$\sigma_{tmáx} = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8}2 = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{4} \qquad \omega = \frac{\pi.\mathrm{n}}{30};$$

Disco con ri y re

$$\begin{cases} \sigma_r = \dfrac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\dfrac{3+\mu}{8}\left[1+\left(\dfrac{r_i}{r_e}\right)^2 - \left(\dfrac{r_i}{r}\right)^2 - \left(\dfrac{r}{r_e}\right)^2\right] \\ \sigma_t = \dfrac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\dfrac{3+\mu}{8}\left[1+\left(\dfrac{r_i}{r_e}\right)^2 + \left(\dfrac{r_i}{r}\right)^2 - \left(\dfrac{r}{r_e}\right)^2 \dfrac{1+3\mu}{3+\mu}\right] \end{cases}$$

Máximo sigma r:

$r = \sqrt{ri.re}$

$$\sigma_{rmáx} = \frac{\gamma.\omega^2 r_e^2}{g}\frac{3+\mu}{8}\left[1-\frac{r_i}{r_e}\right]^2$$

Caso tp 4 con rodamiento

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \mu(\sigma_x + \sigma_y)\right] = 0 \qquad \sigma_z = \mu(\sigma_x + \sigma_y)$$

$$N = \int_0^{r_e} \sigma_z.dF = \int_0^{r_e} \sigma_z.2\pi.r.dr$$